

VELOCIDAD DE SECADO DE ALFALFA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE SECADO ARTIFICIAL

Ernesto Jahn B.(1) , Rodrigo Avilés R.(1), y Luis Barrales V.(2). 2004. Agricultura Técnica, Chillán, 64(2):163-171.

1) Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.

2) Pontificia Universidad Católica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Reservas](#): [Henos](#)

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de secado de alfalfa (*Medicago sativa* L.), simulando en laboratorio diferentes condiciones de temperatura, ventilación y densidad de hilerado. La pradera de alfalfa fue segada manualmente y las muestras obtenidas se dispusieron en horno con y sin ventilación forzada a tres densidades: 4,78; 3,62; y 2,17 kg m⁻², y a tres temperaturas: 20, 30 y 40°C. Se evaluaron 18 tratamientos con cuatro repeticiones, a las que se determinó MS cada 3 h durante el día y se evaluó por un total de 53 h. Se utilizaron seis hornos. El aumento de la densidad del forraje produjo una disminución en la tasa de secado (TS) ($P < 0,0001$), además la TS se incrementó con el aumento de la temperatura y la ventilación. La TS fue de 1,83; 2,20; y 3,25% MS h⁻¹ para las densidades de 4,78; 3,62 y 2,17 kg m⁻², respectivamente, cuando la temperatura fue de 30°C. La TS fue de 1,49; 2,20 y 3,11% MS h⁻¹ para las temperaturas de 20, 30 y 40°C respectivamente, cuando la densidad fue de 3,62 kg m⁻². La ventilación aumentó la TS entre 2 y 2,5 veces, dependiendo de la temperatura. A medida que aumentó la MS del forraje la TS disminuyó. Los datos obtenidos en laboratorio son una herramienta útil para elaborar modelos de simulación, ya que permiten estudiar diferentes factores climáticos sin interacciones entre ellos.

Palabras clave: *Medicago sativa* L., velocidad secado, temperatura, densidad del forraje.

INTRODUCCIÓN

La conservación de forraje para alimentación del ganado bovino, ya sea como heno o ensilaje premarchitado, es una operación agrícola altamente dependiente del clima, puesto que el secado del forraje en terreno depende de varios factores tales, como temperatura, densidad del forraje, velocidad del viento, energía solar; por otra parte el forraje es dañado en algún grado si llueve durante el proceso (Rotz y Sprott, 1984; Cooper y McGechan, 1996).

Con cualquier método de cosecha de alfalfa, el clima es un factor importante ya que afecta la cosecha y la calidad del forraje, y es necesario considerarlo al momento de programar el manejo (Buckmaster *et al.*, 1990). El clima debería ser considerado como una variable guía para la explotación de los recursos vegetales, animales y edáficos (Sivakumar *et al.*, 2000), por lo tanto, es fundamental la disponibilidad de datos meteorológicos confiables. Además, debe considerarse que la disponibilidad oportuna y el uso apropiado de la información agrometeorológica son vitales para operaciones agrícolas exitosas (Weiss *et al.*, 2000).

Los modelos de simulación de factores climáticos han sido desarrollados con el objeto de analizar los sistemas de conservación de forraje y técnicas de manejo, buscando minimizar el daño causado por el clima y maximizar el valor alimenticio del forraje conservado. Han probado ser herramientas valiosas para el estudio de procesos dependientes del clima, haciendo uso más eficiente de los recursos que los extensos experimentos de terreno. Algunos modelos de simulación de conservación de forraje han sido desarrollados por Rotz *et al.* (1989), Gupta *et al.* (1989), y Avilés *et al.* (2000), entre otros.

Los experimentos de campo, tales como estudios de producción de cultivos y componentes de producción, que son sensibles a interacciones ambientales y en los cuales el ambiente del cultivo no está rígidamente controlado o monitoreado, usualmente deben repetirse (en el tiempo o espacio, o ambos) para asegurar que resultados similares puedan ser obtenidos en otros regímenes ambientales.

Debido a que los factores temperatura, radiación solar y velocidad de viento no se pueden controlar en condiciones de campo se optó por realizar un trabajo en condiciones de laboratorio controlando estos factores. El objetivo del presente estudio fue determinar la tasa de secado de alfalfa, simulando en laboratorio diferentes condiciones de temperatura, ventilación y densidad, a fin de complementar y/o validar datos de estudios de campo, y alimentar un programa de simulación de cosecha de forraje desarrollado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilamapu. Este se encuentra disponible en dicho Centro de Investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en condiciones de laboratorio, utilizando forraje cortado proveniente de una pradera de alfalfa (*Medicago sativa* L.) de segundo año y primer corte, establecida en el Fundo Santa Rosa (36° 31' lat. Sur, 71° 54' long. Oeste, 220 m.s.n.m.) perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán.

El ensayo se realizó para determinar la velocidad o tasa de secado de alfalfa, es decir la variación en el contenido de MS a diferentes temperaturas de secado artificial (20, 30 y 40° C), con y sin ventilación forzada, y tres densidades de forraje cosechado (4,78; 3,62 y 2,17 kg m⁻²). Para obtener estas densidades se colocaron 150; 250 y 330 g por bandeja. Se utilizaron bandejas metálicas de 30 x 23 x 8 cm. Estas densidades corresponden aproximadamente a tres anchos de hilerado (0,9; 1,2 y 1,8 m, respectivamente) cuando el ancho de corte es de 2,4 m, y para una pradera con disponibilidad de 3800 kg MS ha⁻¹.

La alfalfa, en estado fenológico de inicio de floración, se cortó en la mañana del 29 de septiembre. La cosecha se realizó con segadora manual, el forraje cosechado se trasladó al laboratorio y fue puesto en bandejas metálicas de secado, en diferentes hornos (Heraeus T-5050 y TU-1, USA).

Para lograr las diferentes temperaturas y ventilación se utilizaron seis hornos, los que se regularon a las temperaturas predeterminadas. El efecto ventilación se logró activando el mecanismo de aire forzado en los tratamientos correspondientes. Debido al tamaño del horno correspondiente al tratamiento de 40°C sin ventilación, no se logró un control adecuado de la temperatura, por lo cual los datos de este tratamiento se eliminaron del análisis.

La MS se determinó realizando 10 determinaciones diurnas (aproximadamente cada 3 h) durante 3 días, es decir en un período experimental de secado de aproximadamente 53 h. Para simular mejor el efecto nocturno los hornos se apagaron durante la primera noche por un período de 10 h, originándose así dos períodos de secado. Durante la segunda noche los hornos permanecieron encendidos.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas completamente al azar. Las parcelas principales consistieron de seis hornos, a cada uno de ellos se asignó un tratamiento proveniente de un arreglo factorial 3 x 2 que corresponde a tres temperaturas y dos niveles de ventilación; en las subparcelas se distribuyeron los tres niveles del factor densidad, con cuatro repeticiones. Debido a que sólo se dispuso de un horno por temperatura y ventilación, no se tuvieron repeticiones físicas para estos factores. Se utilizó un total de 72 bandejas, sin embargo, debido a que se eliminaron los datos de un horno (40°C sin ventilación), el diseño quedó conformado de 15 tratamientos y de sólo 60 bandejas. La MS se analizó bajo un enfoque univariante de mediciones repetidas, considerando un análisis de tendencias en el tiempo; la tasa de secado estimada para cada bandeja se analizó en cada uno de los dos períodos de secado de acuerdo al modelo del diseño indicado (Littell, 1989). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

El porcentaje de MS del forraje se incrementó en forma lineal con el tiempo que permaneció en secado ($P < 0,0001$), sin embargo, este incremento lineal no fue independiente de la modalidad de secado ($P < 0,0001$), esto es, de la temperatura empleada y el uso o no de ventilación. El incremento lineal también fue dependiente de la densidad del forraje ($P < 0,0001$). Este mismo patrón de respuesta de la MS fue observado tanto para el primer período de secado como para el segundo.

Las variaciones en los contenidos de MS obtenidos para las tres temperaturas y niveles de ventilación para cada una de las densidades se presentan en las Figuras 1, 2 y 3. Para la densidad de 2,17 kg m⁻² el porcentaje de MS se estimó en 58,4% a las 9,5 h de tiempo de secado a 40°C con ventilación (Figura 1), en cambio con la densidad de 3,62 kg m⁻² este valor fue estimado en 47,8% (Figura 2) y sólo en 42,8% con una densidad de 4,9 kg m⁻² (Figura 3). Se observó claramente una mayor velocidad de secado a medida que disminuye la densidad del forraje. Se observa, además, un aumento en la velocidad de secado en las tres densidades a medida que se incrementa la temperatura; esto se visualiza fácilmente al comparar las tres temperaturas con ventilación (Figuras 1, 2 y 3).

Figura 1. Porcentaje de materia seca de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a una densidad de 2,17 kg m⁻² sometida a secado artificial con diferentes condiciones de temperatura y ventilación.

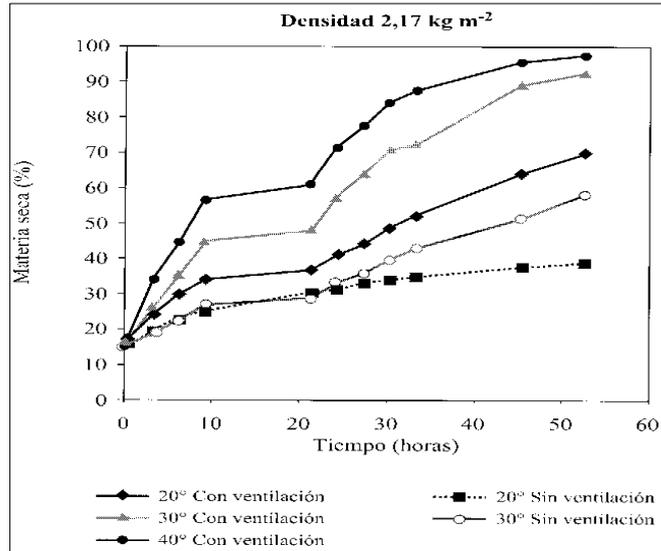


Figura 2. Porcentaje de materia seca de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a una densidad de 3,62 kg m⁻² sometida a secado artificial con diferentes condiciones de temperatura y ventilación.

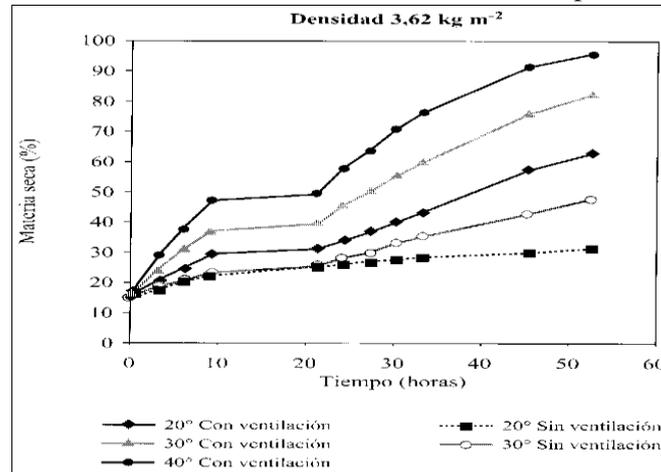
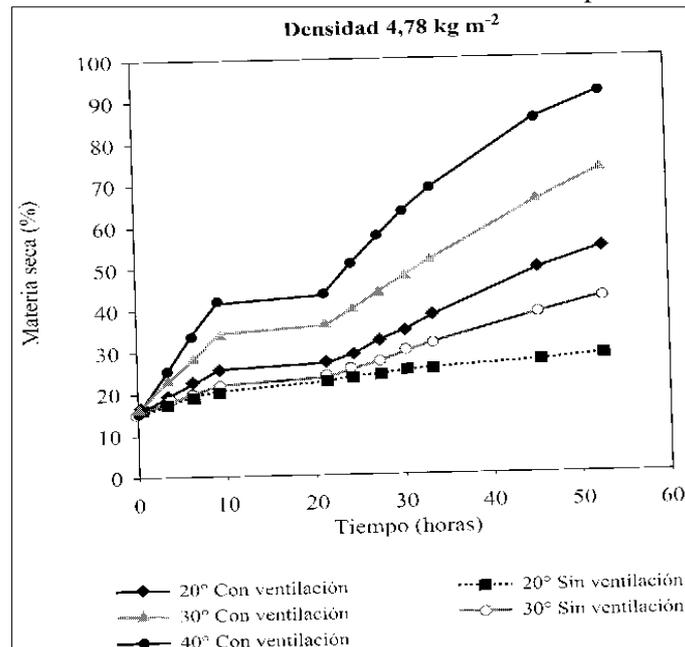


Figura 3. Porcentaje de materia seca de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a una densidad de 4,78 kg m⁻² sometida a secado artificial con diferentes condiciones de temperatura y ventilación.



Durante el período nocturno en que se apagaron los hornos, se observó un leve aumento en la MS, lo cual es coincidente con lo observado en terreno en trabajos de Jahn *et al.* (2003). Durante el segundo período de encendido de los hornos se mantuvieron las diferencias en las tasas de secado, sin embargo, se observó que las pendientes de las curvas disminuyen a medida que el forraje aumenta su contenido de MS (Figuras 1, 2 y 3).

Tasa de secado

Primer período de secado

Se observó un efecto promedio significativo de la densidad ($P < 0,0001$), indicando que mayores tasas de secado se lograron para el forraje con menor densidad (Cuadro 1). Sin embargo, la modalidad empleada en el secado (temperatura-ventilación) interactuó en forma significativa ($P < 0,0001$) con la densidad, de tal forma que el efecto de la densidad sólo se observó en las modalidades de secado que usa ventilación, pero con temperaturas de 30 ó 40°C. Dentro de cada densidad las tasas más altas se obtuvieron con las mayores temperaturas usando ventilación, siendo éstas estadísticamente diferentes entre sí y diferentes de las otras tasas de secado alcanzadas con la modalidad sin ventilación.

Cuadro 1. Tasa de secado de alfalfa (% MS h⁻¹) obtenido con diferentes condiciones de temperatura, ventilación y densidad, durante el primer período de secado.

Tratamiento	Densidad		
	4,78 kg m ⁻²	3,62 kg m ⁻²	2,17 kg m ⁻²
20°C con ventilación	A 1,12 c	A 1,49 c	A 1,67 c
30°C con ventilación	B 1,83 b	B 2,20 b	A 3,25 b
40°C con ventilación	B 2,84 a	B 3,11 a	A 4,12 a
20°C sin ventilación	A 0,51 d	A 0,67 d	A 0,93 d
30°C sin ventilación	A 0,80 c	A 0,93 d	A 1,36 cd
Promedio	1,42 C	1,68 B	2,27 A

Promedios en cada fila con letras mayúsculas diferentes son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey ($P = 0,05$).

Promedios en cada columna con letras minúsculas diferentes son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey ($P = 0,05$).

Con 20°C y sin ventilación y con una densidad de 4,78 kg m⁻², la tasa de secado fue de 0,51% MS h⁻¹ y ésta aumentó a 1,13% MS h⁻¹ para la misma temperatura, pero con ventilación. La tasa de secado se incrementó a 4,12% MS h⁻¹ con la densidad de 2,17 kg m⁻² a 40°C con ventilación.

Estos datos concuerdan con los de Rotz y Sprott (1984), quienes señalaron que alfalfa dispuesta en una hilera angosta se seca entre 20 y 30% más lento que aquella secada en una hilera ancha. Sin embargo, debe considerarse que el método de reorganizar una hilera ancha en otra más estrecha ha mostrado las mayores pérdidas debido a la mecanización del proceso (Rotz y Sprott, 1984; Rotz y Savoie, 1991), pero esta pérdida está inversamente relacionada con la producción del cultivo o densidad de la hilera (Rotz y Abrams, 1988). Wright *et al.* (1997, citados por Wright *et al.*, 2000) indicaron que la tasa de secado está primariamente relacionada con la radiación solar y la densidad de hilerado.

A medida que aumentó la temperatura se incrementó la velocidad de secado en todas las densidades. La ventilación aumentó considerablemente la velocidad de secado, y a 20°C se incrementó la tasa de secado en 2,03 veces, en cambio con 30°C la ventilación aumentó la tasa de secado en 2,53 veces (Cuadro 1).

Savoie (1982, citado por Gupta *et al.*, 1989) desarrolló experimentos de campo con alfalfa y encontró una relación entre tasa de secado y numerosos factores, tales como temperatura, radiación, producción y tratamientos mecánicos; pero encontró que la velocidad del viento no era un factor significativo. En el presente estudio la ventilación se consideró sólo cualitativamente, como ausente o presente, y tuvo un efecto significativo ($P < 0,0001$). Tal vez debido a la presencia de interacciones complejas presentes en terreno, y a que en cambio en laboratorio las variables pueden ser individualizadas y controladas, es imposible determinar si los factores son subestimados o sobrestimados en cada caso.

Un estudio previo (Jahn *et al.*, 2003) sobre factores que afectan el secado de alfalfa en terreno, indicó que la densidad de hilera y la radiación solar afectan considerablemente la velocidad de secado de la alfalfa y de manera significativa el contenido de MS del forraje. Las interacciones hora x ancho y hora x radiación fueron significativas. En este caso, 'hora' podría ser considerada análoga con temperatura, pues se refiere a tres horas de muestreo diferentes durante el día, y no a tiempo de secado a temperatura constante como en el presente estudio.

En el trabajo de Jahn *et al.* (2003) y otros realizados en terreno, normalmente no se pueden aislar los factores, ya que radiación y temperatura están relacionados, además el factor viento no se puede comparar a diferentes temperaturas en forma simultánea. Por lo tanto, los trabajos realizados en condiciones de laboratorio permiten estudiar los factores en forma aislada y sin interacción entre ellos.

Un trabajo realizado en Michigan y California (Carlson *et al.*, 1989) en alfalfa acondicionada y secada en terreno, se usó densidad de hilera y horas de secado, y radiación solar diaria y temperatura máxima para desarrollar dos modelos de predicción de secado diario. Se estableció que el modelo de radiación x tiempo fue el mejor y válido bajo las condiciones ambientales locales.

Segundo período de secado

En general, las tasas de secado en este período fueron inferiores a las obtenidas en la primera fase, indicando esto una mayor velocidad de secado en las primeras horas. Se observó un efecto promedio significativo de la densidad ($P < 0,0001$), lográndose una mayor tasa de secado en forrajes con la más baja densidad. La modalidad en que se efectuó el secado no modificó significativamente ($P = 0,27$) el efecto de la densidad (no interacción), así las mayores tasas fueron obtenidas en las densidades bajas y esto independiente de la modalidad de secado. La tasa más alta de secado se logró a 40°C con ventilación.

Durante el segundo período de secado del forraje, cuando éste presentaba un mayor porcentaje de MS, las tasas de secado en general disminuyeron considerablemente (Cuadro 2). Los efectos de densidad del forraje, temperatura y ventilación mantuvieron tendencias similares a las observadas durante el primer período de secado. En el caso del horno de 40°C con ventilación las diferencias en la tasa de secado entre las diferentes densidades de forraje fueron menores, debido a que el porcentaje de MS del forraje en este caso fue mayor, alrededor de 60-70% dependiendo de los tratamientos. Estos datos indican que la velocidad de secado disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de MS del forraje.

Cuadro 2. Tasa de secado de alfalfa (% MS h⁻¹) obtenido con diferentes condiciones de temperatura, ventilación y densidad, durante el segundo período de secado.

Tratamiento	Densidad		
	4,78 kg m ⁻²	3,62 kg m ⁻²	2,17 kg m ⁻²
20°C con ventilación	0,95	1,04	1,29
30°C con ventilación	1,32	1,69	2,05
40°C con ventilación	2,02	2,24	2,24
20°C sin ventilación	0,27	0,24	0,41
30°C sin ventilación	0,67	0,84	1,17
Promedio	1,05 B	1,21 B	1,43 A

Promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey ($P = 0,05$).

Para los modelos de simulación es importante distinguir que los datos son sólo dígitos con las unidades apropiadas, ej. MJ m⁻² día, grados Celsius, mm de lluvia, que en estos casos representan datos de radiación solar, temperatura ambiente y precipitación. Éstos pueden provenir de predicciones u observaciones, y por si mismos no son útiles para tomar decisiones. La información es el resultado de utilizar una simulación estadística u otro tipo de modelo, y se puede usar para tomar una decisión.

Sin embargo, el problema de las predicciones es su relativa falta de confiabilidad, y además, frecuentemente los agricultores carecen de una adecuada capacidad para aplicar estas predicciones climáticas en la producción agrícola; pero éstas son más confiables si se basan en modelos desarrollados con datos observados en lugar de datos estimados (Stigter *et al.*, 2000), de ahí la importancia de validar modelos en base a datos agroclimáticos locales.

Los datos de este estudio y otros previos son útiles para desarrollar y validar un modelo de predicción para conservación de forrajes con datos agroclimáticos locales (Avilés *et al.*, 2000), a fin de proveer una predicción al productor de cómo será el proceso de secado en diferentes condiciones de clima, tales como temperatura, radiación solar y largo del día, y con estos datos manejar el proceso de secado variando la densidad del forraje, lo que se regula con el ancho de hilerado.

El tiempo necesario para obtener un determinado porcentaje de MS se puede inferir de estos datos, y para lograr 30% MS con 20°C, con ventilación, y a una densidad de 4,78 kg m⁻² se requieren 25 h, en cambio sólo se

necesitan 6,2 h con una densidad de 2,17 kg m⁻² (Cuadro 3). El lapso de tiempo para lograr 30% de MS disminuye con el aumento de la temperatura y se incrementa considerablemente cuando no hay ventilación.

Cuadro 3. Tiempo requerido (h) para la obtención de 30% materia seca de alfalfa secada en horno con diferentes condiciones de temperatura, densidad de forraje y ventilación.

Tratamiento	Densidad		
	4,78 kg m ⁻²	3,62 kg m ⁻²	2,17 kg m ⁻²
20°C con ventilación	25,0	15,3	6,2
30°C con ventilación	7,1	5,7	4,6
40°C con ventilación	4,8	3,6	2,6
20°C sin ventilación	n.o. ¹	47,1	21,2
30°C sin ventilación	31,0	27,1	21,6

¹ no observado.

CONCLUSIONES

Las condiciones de temperatura, ventilación y densidad del forraje afectaron la tasa de secado de alfalfa. La tasa de secado fluctuó entre 0,51 y 4,12% MS h⁻¹ para diferentes condiciones de temperatura, densidad de forraje y ventilación.

Los datos generados bajo condiciones controladas son útiles para aislar los diversos factores climáticos y permiten generar datos apropiados para desarrollar modelos de simulación de procesos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa cooperación del Sr. Daniel Reyes durante el desarrollo del ensayo y el procesamiento de la información, y a la Sra. Rocío Sasmay por la cooperación en la revisión de literatura y preparación del primer manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Avilés, R., E. Jahn, G. Castellano, y P. Fontecilla. 2000. Modelo de simulación de la velocidad de secado de la alfalfa. p. 89-90. XXV Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal A.G., Puerto Natales, Chile. 18-20 de octubre. Sociedad Chilena de Producción Animal, Temuco, Chile.
- Buckmaster, D.R., C.A. Rotz, and J.R. Black. 1990. Value of alfalfa losses on dairy farms. *Trans. ASAE* 33:351-360.
- Carlson, J.D., H. Choi, and C.A. Rotz. 1989. The influence of weather variables on the drying of hay. p. 42-45. 19th Conference on Agricultural and Forest Meteorology and the 9th Conference on Biometeorology and Aerobiology, Charleston, South Carolina, USA. March 7-10. American Meteorological Society, Boston, Massachusetts, USA.
- Cooper, G., and M.B. McGechan. 1996. Implications of an altered climate for forage conservation. *Agric. For. Meteorol.* 79:253-269.
- Gupta, M.L., R.H. MacMillan, R.H. McMahan, and D.W. Bennett. 1989. A simulation model to predict the drying time for pasture hay. *Grass Forage Sci.* 44:1-10.
- Jahn, E., P. Soto, P. Cofré, y R. Sasmay. 2003. Velocidad de secado de alfalfa bajo diferentes condiciones de radiación solar y ancho de hilerado. *Agric. Téc. (Chile)* 63:30-37.
- Littell, R.C. 1989. Statistical analysis of experiments with repeated measurements. *HortScience* 24:37-40.
- Rotz, C.A., and M.S. Abrams. 1988. Losses and quality changes during alfalfa hay harvest and storage. *Trans. ASAE* 31:350-355.
- Rotz, C.A., D.R. Buckmaster, D.R. Mertens, and J.R. Black. 1989. DAFOSYM: A dairy forage system model for evaluating alternatives in forage conservation. *J. Dairy Sci.* 72:3050-3063.
- Rotz, C.A., and P. Savoie. 1991. Economics of swath manipulation during field curing of alfalfa. *Appl. Eng. Agric.* 7:316-323.
- Rotz, C.A., and D.J. Sprott. 1984. Drying rates, losses and fuel requirements for mowing and conditioning alfalfa. *Trans. ASAE* 27:715-720.
- SAS Institute. 1990. Procedure guide release. 45 p. 7th ed. Cary, North Carolina, USA.
- Sivakumar, M.V.K., R. Gommès, and W. Baier. 2000. Agrometeorology and sustainable agriculture. *Agric. For. Meteorol.* 103:11-26.
- Stigter, C.J., M.V.K. Sivakumar, and D.A. Rijks. 2000. Agrometeorology in the 21st century: workshop summary and recommendations on needs and perspectives. *Agric. For. Meteorol.* 103:209-227.
- Weiss, A., L. Van Crowder, and M. Bernardi. 2000. Communicating agrometeorological information to farming communities. *Agric. For. Meteorol.* 103:185-196.

Wright, D.A., F.J. Gordon, R.W.J. Steen, and D.C. Patterson. 2000. Factors influencing the response in intake of silage and animal performance after wilting of grass before ensiling: a review. *Grass Forage Sci.* 55:1-13.

Volver a: [Reservas: Henos](#)